Абракітов В.Е., Абракітов Д.В. Негативний вплив шуму на конструкції будівель, що несуть та огороджують, в світлі механіки руйнування// Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: Наук.-техн. збірник. Вип. 42. – К. – Дніпр.: Основа, 2007. – С. 296-301.

УДК 654.927, 654.928

АКУСТИЧНА КОРОЗІЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Абракітов В.Е.

Харківська національна академія міського господарства, м. Харків, Україна

АНОТАЦІЯ: шумове забруднення навколишнього середовища поряд з атмосферною, електрохімічною, температурною й ін. видами корозії варто розглядати як одну із причин передчасного старіння будь-якого матеріалу. Надана спроба математичного статистичного опису розподілу напруг з застосуванням коефіцієнта використання утоми для побудови так званих S-N кривих з межею утоми.

АННОТАЦИЯ: шумовое загрязнение окружающей среды вместе с атмосферной, электрохимической, температурной и др. видами коррозии следует рассматривать как одну по причине преждевременного старения любого материала. Представлена попытка математического статистического описания распределения напряжений с применением коэффициента использования усталости для построения так называемых S-N кривых с пределом усталости.

ABSTRACT: noise contamination surrounding ambiences together with atmospheric, electro-chemical, warm-up and the other type to corrosions follows to consider as one by reason of premature diligence of any material. The Presented attempt of the mathematical statistical description of the sharing the voltages with using utilization ratio to weariness for building s o named by S-N crooked weariness with limit.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ АКУСТИЧНОЇ КОРОЗІЇ МАТЕРІАЛІВ

Доклад "Акустичне забруднення навколишнього середовища як фактор руйнування інженерних систем і будівельних конструкцій" за матеріалами [1] піднімає проблему негативного впливу звукових хвиль на будівельні конструкції. В [2, 3] наводяться такі положення: будь-яка будівельна конструкція, що знаходиться в міській забудові з великою кількістю джерел шуму, неминуче піддається впливу (проходженню скрізь неї) енергії звукових хвиль. Цей вплив не проходить для неї безслідно. Поглинута конструкцією звукова енергія нікуди не дівається: (тобто зовсім ігнорувати її в дослідженнях корозії, процесів руйнування та деформування матеріалу неможливо). Як аксіома сприймається хрестоматійне положення про те, що поглинена звукова енергія в товщі середовища перетворюється в теплову. Перетворення це, однак же, відбувається в такий спосіб. Влучення звуку на поверхню матеріалу (який, проникнувши через границю розподілу середовищ усередину, так й іменується - "звукові коливання в товщі середовища"), приводить до механічного переміщення конструктивних елементів спорудження або пристрою на мікрорівні (у цьому випадку під «конструктивними елементами на мікрорівні» можуть розумітися, наприклад, складові його молекули), що має вид складного коливального руху в товщі цього середовища : вигинові, зсувні,

крутильні та ін. хвилі. Мікро-"цеглинки", (що складають на макрорівні, наприклад, єдину й цільну бетонну плиту), під впливом проходження шуму в ній розгойдуються! Звукова хвиля загасає за рахунок сил тертя, яке гасить ці змушені коливання, які потім перетворюються у тепло (на мікрорівні). Це – закон збереження енергії, і з нього явно випливає, що будь-яке проходження звукової хвилі через будь-який матеріал явно не проходить для нього безвісти?

На молекулярному рівні варто говорити про змушені коливання структурних елементів будь-якої речовини під впливом зовнішнього шуму. Це може являти собою причину так званої акустичної корозії матеріалу (що являє собою один з проявів «утоми матеріалу»). Детальне обґрунтовування та подальше розширення наведених вище положень див. у монографії В.Е. Абракітова "На шляху до наукових відкриттів". Монографія зараз находиться в друці, на момент підготування статті ще не видана, і тому в бібліографічний перелік не включена (видання 2007 р.).

Шум як фактор руйнування, деформування, пошкодження конструкцій та матеріалів знайшов відбиття також в роботах інших авторів. В роботі [4], наприклад, докладно розповідається про утому матеріалу від дії акустичних коливань, і навіть наводяться фотографії деформованих (на іншому фото – розламаних) конструктивних елементів літака, що «самопошкоджилися» під дією саме акустичних чинників – шум (не вібрації, саме **шум**: це підкреслюється в [4]) від реактивного двигуна, що встановлений на тому ж літаку, по вказаних вище причинах призвів до їх руйнування!

Ми, однак же, досліджуємо залізобетонні (будівельні) конструкції, що піддаються впливу менших (за значенням інтенсивності звуку) коливань пружного середовища, і маємо справу не з такими чіткими, різкими, явно вираженими проявами негативної дії шуму. Але зовсім ігнорувати, скинути з врахування той чинник не можна. Але ж, якщо явище це існує, випливає явно з закону збереження енергії – потребується якимсь чином надати йому кількісної оцінки?

2. ПІДХІД ДО КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ШКІДЛИВОЇ ДІЇ ШУМУ ЯК БЕЗПОСЕРЕДНЬОЇ ПРИЧИНИ УТОМИ МАТЕРІАЛУ

«Утома матеріалу» наступає в результаті багаторазових повторень циклів впливу. Тому вона не є наслідком саме вібрацій, і виникає навіть при нерегулярному повторенні циклів зміни напруги, причому число циклів у заданому інтервалі часу також не грає ролі (але крайній мері, при звичайних умовах). Справа в тому, що число циклів напруги, необхідних для руйнування, звичайно, значне, і шум (звукова вібрація) є лише способом досягнення потрібного для руйнування (великого) числа циклів у в изначений проміжок часу.

Загальний огляд процесу утоми матеріалів, в основному в деталях машин, наданий в [5]; [6] являє собою довідник по утомі, а [7] надає практичні рекомендації (стосовно утоми в інших випадках, але не до утоми внаслідок саме дії шуму).

Кожен період впливу енергії звукових хвиль вносить незначний, але необоротний внесок у процес утоми. Це може трапитися, якщо навіть всі викликані зовнішнім навантаженням напруги перебувають набагато нижче межі міцності мате ріалу - у лінійній, пружній області. Основними зовнішніми впливами, які ведуть до руйнування, є циклічні, тобто періодичні сили, вони вносять відповідні компоненти внутрішніх циклічних напруг.

Руйнування конструкції внаслідок утоми відбувається в три етап и. На першому етапі (зародження), з'являються мікротріщини. На другому етапі (росту тріщин), тріщини ростуть зі збільшенням швидкості під дією періодичних зовнішніх сил. На третьому етапі (руйнування), конструкція спонтанно руйнується, тому що поперечний перетин, що

залишився, занадто мало для протидії зовнішнім силам. Раніше представлений початковий етап віднімає частину ресурсу конструкції, від 50 до 75%. Однак, більше точні дослідження на мікроскопічному рівні показали, що мікротріщини з'являються вже після вироблення 1% ресурсу. До того ж, невеликі поверхневі дефекти, що виступають у ролі джерел зародження тріщин, уже можуть бути присутнім при поставці виробу виробником.

Розрізняють багатоциклову й малоциклову утому. При малоцикловій утоми, остаточне руйнування відбувається приблизно після 10^3 циклів і менш. При багатоцикловій утоми, руйнування відбувається після 10^3–10^9 циклів. Досліджуючи вплив звуку на будівельні конструкції як акустичну корозію, ми розглядаємо тільки саме багатоциклову утому. Чутливість до утоми найбільш вираженим образом проявляється в конструктивних елементах, які містять неоднорідності, такі як включення, порожнини, шорсткість поверхні й інші відомі фактори, наприклад, високі залишкові напруги, які ведуть до збільшення швидкості росту тріщин й ушкоджень. Викликувані звуковою хвилею напруги в товщі твердого матеріалу є строго періодичними із цілочисловими гармонійними складовими. У малому інтервалі часу амплітуди напруг є постійними. Однак у реальності об'єкт піддається впливу великої кількості звукових хвиль від різних джерел шуму, тому в більших проміжках часу коливальні резонанси із прилягаючими конструкціями викликають безладність рівня напруг.

Напруги випадкові як у коротких, так й у більших інтервалах часу й завжди можуть бути описані розподілами ймовірностей.

Є два різних підходи до прогнозування ресурсу утоми, а саме, метод Палмгрена - Майнера (*Palmgren-Miner*), заснований на емпіричних S-N кривих і метод механіки руйнування, заснований на теорії Париса-Ергодана (*Paris-Ergodan*) з емпіричними d*a*/d кривими. Метод Палмгрена-Майнера дозволяє прогнозувати весь ресурс елемента, тобто як початковий етап, так і фазу поширення, у той час як метод механіки руйнування має справу тільки з фазою поширення.

3. СТАТИСТИЧНІ РОЗПОДІЛИ НАПРУГ

Основною характеристикою утоми є розмах напруг S:

$$S=\sigma_{max}-\sigma_{min}.$$

де σ_{max}, σ_{min} – відповідно, максимальне та мінімальне значення циклу напруг.

Основний гама розподіл являє собою стандартний розподіл для розмаху напруг.

Для великих інтервалів часу розмах напруг можна задати за інтегралом

$$f(S) = \int f_1(S) f_2(X) dX \qquad (1)$$

Масштабний параметр X змінюється у відповідності із іншим гама розподілом з функцією щільності ймовірності:

$$f_2(X) = g(b, j, B; X) = \frac{|1|}{\Gamma(b) B} \left(\frac{X}{B}\right)^{bj-4} e^{-(X/B)^2} \qquad (2)$$

Параметри b, j й B можуть бути отримані з регулярних довгострокових вимірів або з розрахунків коливальних напруг, заснованих на довгостроковій статистиці коливань. (2) являє собою розподіл, залежний від часу.

У деяких випадках це буде розподіл Релея (*Rayleigh*), тоді параметри такі:

$$X = 2\sqrt{2}\,\sigma_S$$

де σ_S - середнєквадратичне значення компоненти напруг.

В інших випадках як, наприклад, із силами опору впливу хвиль, він може бути також близьким до експонентного розподілу, де можна взяти наступні параметри

$$X = \bar{S} = \sigma_S.$$

У цьому випадку, змінна X дорівнює середньому розмаху напруг $\bar{S}$, а також дорівнює відповідному середнєквадратичному відхиленню σ_s.

Момент M_m головного порядку m, (не обов'язково ціле число), може бути точно знайдений як

$$M_m = B^n \frac{\Gamma(a+\frac{m}{h})\Gamma(b+\frac{m}{j})}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \qquad (3)$$

У деяких випадках цей момент є достатнім для оцінки ресурсу при утомі, при середнєквадратичних значеннях напруг, що мають гама розподіл (Γ- розподіл). Для того, щоб знайти щільність імовірності $f(S)$, вираження (1) може бути інтегроване аналітично, але лише в обмеженому числі випадків. У більшості випадків, наближений Γ-розподіл може бути знайдено різними шляхами.

Функція щільності ймовірності для розподілу амплітуди напруг для більших інтервалів часу може бути записана:

$$f(S) = g(d,k,D;S) = \frac{|k|}{\Gamma(d)D}\left(\frac{S}{D}\right)^{k-1} e^{(S/D)^4} \qquad (4)$$

де параметри d, k й D визначені як функції невідомих параметрів a, h, b, j й B. Існують, принаймні, три методи для їхнього одержання: елементарний метод; метод логарифмічних моментів; метод сідлової точки (метод перевалу).

Елементарний метод широко використає зручні властивості двохпараметрового розподілу Вейбулла (*Weibull*). Однак, тому що це окремий випадок основного Γ-розподілу, можна заздалегідь прийняти, що всі параметри форми розподілу дорівнюють одиниці. Це припускає, що в розподілах імовірностей (1 - 4):

$$a = b = d = 1$$

4. КОЕФІЦІЄНТ КОНЦЕНТРАЦІЇ НАПРУГ

Спочатку розмах напруг S уводився без подальшого пояснення. Однак, в утомі елементів конструкції й тим більше в механіці руйнування, важливо розглядати напруги на визначеному структурному рівні, а також визначену компоненту тензора напруг або комбінацію компонент. Для цих цілей треба ввести коефіцієнт концентрації напруг як зв'язок між загальними й місцевими напруженнями.

У деяких даних по утомі, таких як у першому виданні роботи [10], елементи конструкції класифікують відповідно до показника впливу надрізу (ефективного коефіцієнта концентрації напруг) K_f, що використають при побудові кривих утоми. Ефективний коефіцієнт концентрації напруг є більш точнішим коефіцієнтом концентрації напруг, перетвореним для того, щоб урахувати конкретну міцність матеріалу. Для хрупких матеріалів ефективний коефіцієнт концентрації напруг K_f близький до теоретичного коефіцієнта K_t. Для пластичних матеріалів він може бути значно нижче, відхилення задається індивідуальним коефіцієнтом чутливості матеріалу до концентрації напруг.

У більшості емпіричних досліджень утоми [5 - 8] оцінювалися ушкодження й тріщини, що виникли під впливом синусоїдальних коливань напруг з постійною

амплітудою. Однак, представлені вище циклічні навантаження, зокрема коливання напруг , викликані хвилями, завжди випадкові. Отже, для того, щоб застосувати результати лабораторних випробувань до пророкування ушкоджень від утоми, необхідно зробити деякі допущення в підсумовуванні внесків у процес утоми послідовних циклів напруг зі змінною амплітудою. У такому випадку, процес може бути описаний й оцінений статистично. Формула Палмгрена-Майнера визначає накопичені ушкодження від утоми через змінні вхідні в коефіцієнт використання η:

$$\eta = \sum \frac{n(S)}{N(S)} \qquad (5)$$

де S – амплітуда напруг або розмах напруг (тобто подвійна амплітуда),

η – коефіцієнт використання, що свідчить про руйнування при η=1,

$n(S)$ – дійсне число циклів з амплітудою напруг або розмахом S,

$N(S)$ – число циклів до руйнування N_f при амплітуді напруг або розмаху S.

Сума взята по всіх рівнях напруг. Якщо n циклів напруг взагалі, яке випадково розподілено із щільністю ймовірності $f(S)$, то це означає, що число циклів напруг між S й S+d дорівнює $nf(S)$. Отже, коефіцієнт використання (5) може бути обчислений за допомогою інтеграла

$$\eta = n\int \frac{1}{N(S)} f(S)dS \qquad (6)$$

Число циклів до руйнування $N(S)$ визначають за допомогою відповідної кривої Велера, або S-N діаграми, нескладно підібрати математичну криву, переважно пряму лінію, до емпіричних точок на цієї S-N діаграмі.

5. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ З S-N КРИВИХ

S-N криві є загальноприйнятим в іноземній (західній) науковій літературі способом графічного відбиття інформації по утомі матеріалу, та показують число циклів N_f, що зразок може витримати до руйнування чи деформації. Всі цикли у випробуванні мають певний розмах напруг або амплітуду, й вимір на одному зразку дає одну крапку на кривій. Природно, загальна тенденція така, що чим менше розмах напруг S, тим більше ресурс N_f. Крім того, ділянки кривих залежать від декількох фізичних факторів і можуть бути представлені в різних математичних формах. Для цього в літературі по утомі надаються визначення двох основних типів:

1. S-N криві з логарифмічним масштабом на обох осях (далі – логарифмічні криві), які є лінійними або кусочно-лінійними, при цьому $\log S$ перебуває навпроти $\log N$. Для нашої мети вони більш зручні, тому що число циклів N_f під впливом звукових коливань, занадто велике. Оскільки частота (звуку) являє собою кількість коливань в одиницю часу (в секунду; розмірність одиниці фізичної величини в 1 Гц є 1/с), число циклі в у випадку вивчення впливу шуму можна підрахувати з формули:

$$N_f = T\cdot\frac{1}{f} \qquad (7)$$

де T – час дії навантаження, с; f – частота (звуку), Гц.

2. S-N криві з логарифмічним масштабом на однієї з осей (далі - напівлогарифмічні), які є лінійними, при цьому розмах напруг S на лінійній шкалі перебуває навпроти $\log N$. Вони застосуються переважно для описання малоциклової утоми (в інших дослідженнях, не пов’язаних з фактором акустичних коливань).

Криві можуть містити, або не містити межу утоми (границю витривалості) S_0, тобто нижню межу розмаху напруг S, нижче якої ресурс нескінченний. Приклади логарифмічних S-N кривих показані на рис. 1.

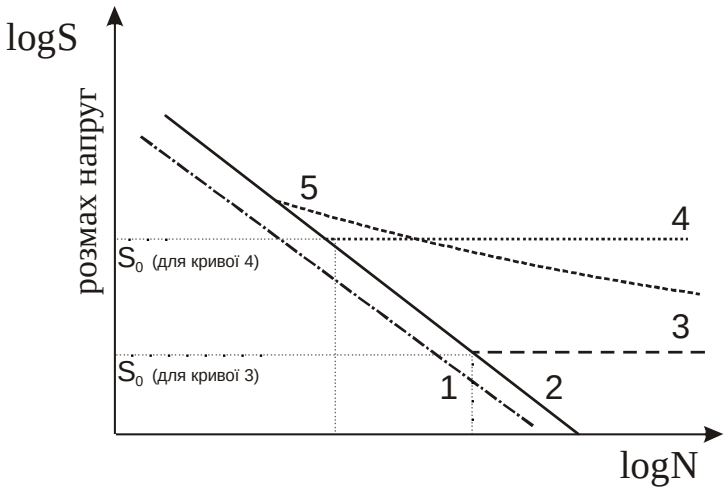

Рис. 1. Схема із прикладами різних S-N кривих. 1, 2 - S-N криві без межі утоми; 3, 4 - S-N криві з межею утоми; 5 - білінійні S-N криві.

Всі криві побудовані на основі кривої 1, що має аналітичну, логарифмічну форму, що описана формулою (8).

Безрозмірний параметр m визначає нахил кривої. S_1 – масштабний параметр, що має ту ж розмірність, що й розмах напруг S. Він може бути зрозумілий як фіктивний розмах напруг, що визначає ушкодження від утоми після одного циклу. Якщо S представляє замість розмаху напруг (подвійної амплітуди) одиничну амплітуду напруг, то S_1 також повинен бути перетворений в амплітуду напруг (половину розмаху). Найчастіше в літературі використають альтернативний параметр A. Однак, це може викликати утруднення при зміні одиниць виміру. Для опису ресурсу статистичним чином, при даному розмаху напруг, звичайно приймають, що A є нормальним логарифмом так, що log нормальний при даному середнім значенні й средньоквадратичному відхиленні. Номінальне значення A звичайно надається в літературних аналогах, (присвячених дослідженням утоми в інших сферах), як 95,5% виживаності, на не 100%.

6. ОСНОВНА ЛОГАРИФМІЧНА S-N КРИВА

У випадку логарифмічної S-N кривої число циклів до руйнування $N(S)$ може бути записане як

$$N(S) = \left(\frac{S_1}{S}\right)^m = A/S^m, \qquad (8)$$

де $A = S_1^m$.

Якщо це вираження підставити в (6), то одержимо коефіцієнт використання:

$$\eta = \frac{n}{S_1^m}\int_0^\infty S^m f(S)dS = \frac{n}{S_1^m}M_m$$

де M_m – визначають як статистичний момент із порядком розподілу розмаху напруг m. Якщо зразок піддається n циклам навантаження за стаціонарний короткий період часу (скажемо, приблизно n=1000 у годину), де розмах напруг має $Г$-розподіл відповідно до

(2), то збільшення коефіцієнта використання при утомі буде

$$\Delta\eta = n\left(\frac{X}{S_1}\right)^m = \frac{\Gamma(a+m/h)}{\Gamma(a)} \qquad (9)$$

Для більших відрізків часу, елемент має цикли напруг з *Г*-розподілом (1). Параметри *d*, *k*, і *D* можна визначити за допомогою одного з методів, згаданих вище. Відповідно, коефіцієнт використання після *n* циклів дорівнює

$$\eta = n\left(\frac{D}{S_1}\right)^m = \frac{\Gamma(d+m/k)}{\Gamma(d)} \qquad (10)$$

У цьому випадку, ця величина може бути знайдена простіше й точніше при використанні (3). Що дає

$$\eta = n\left(\frac{B}{S_1}\right)^m = \frac{\Gamma(a+m/h)}{\Gamma(a)} \cdot \frac{\Gamma(b+m/j)}{\Gamma(b)} \qquad (11)$$

7. S-N КРИВІ З МЕЖЕЮ УТОМИ

Межа утоми (витривалості) означає, що цикли напруг з амплітудою менше, ніж граничне значення S_0 не вносять свій внесок у суму Майнера (6). З огляду на цю межу, (6) варто записати як

$$N(S) = \begin{cases} (\frac{S_1}{S})^m & S>S_0 \\ \infty & S<S_0 \end{cases}$$

Об'єднання цієї S-N кривій з розподілом напруг дає приріст у сумі Майнера для коротких інтервалів, після *n* циклів:

$$\Delta\eta = n\left(\frac{X}{S_1}\right)^m = \frac{\Gamma(a+\frac{m}{h};\left(\frac{S_0}{X}\right)^h)}{\Gamma(a)} \qquad (12)$$

яка заміняє вираження (9). Відповідно, у діапазоні більших відрізків часу коефіцієнт використання утоми, напрацьований у протязі *n* циклів напруг розподілених відповідно до (4), дорівнює

$$\eta = n\left(\frac{D}{S_1}\right)^m = \frac{\Gamma(d+\frac{m}{h};\left(\frac{S_0}{D}\right)^j)}{\Gamma(d)} \qquad (13)$$

який заміняє (10). Точна формула, відповідна (11), не знайдена.

Чисельне визначення функцій (12) і (13) потрібно не завжди, тому що на основі цих формул може бути побудована діаграма утоми, ми називаємо її C-N діаграмою, що застосовується для процесів з випадковими навантаженнями, у такий же спосіб, як використається S-N крива для регулярних синусоїдальних напруг. Формально коефіцієнт використання η в (12) і (13) може бути записаний подібно (5):

$$\eta = \sum \frac{n(C)}{N(C)}$$

де $n(C)$ – дійсне число циклів напруг в умовах з масштабним коефіцієнтом C. Змінна C аналогічна X в (1) у випадку малого інтервалу часу й D в (4) у випадку великого. У такий же спосіб, $N(C)$ – це число циклів до руйнування для процесу випадкового навантаження з масштабом C. Сума взята по всіх умовах навантаження. Такий підхід більш описано докладно в роботі [12].

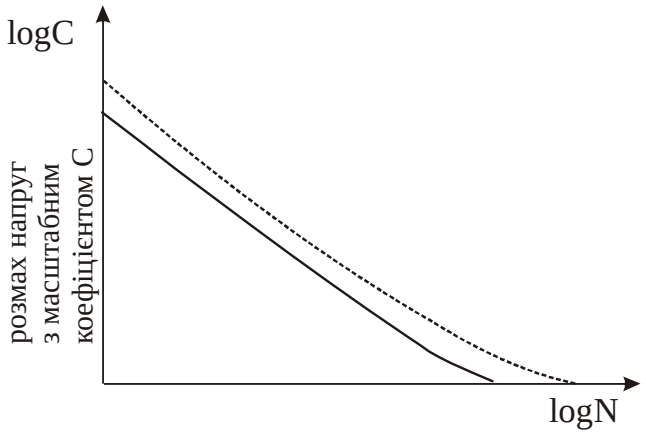

Рис. 2. Приклад різних *C-N* кривих.

8. БІЛІНІЙНІ S-N КРИВІ

S-N криві з межею утоми, згадані вище, не вносять вклад у процес утоми при досить малому розмаху напруг, а саме менше S_0. Але, все-таки, конструкції мають чутливість до малих навантажень, що збільшується з віком. Невелика амплітуда, що не впливає на утому, коли конструкція нова, може внести значний вклад, коли ресурс утоми конструкції підходить до кінцю. Це – реальність; спочатку ми намагалися досліджувати якісь ідеалізовані умови на прикладі простіших форм. При певному рівні напруг S_0, крива міняє нахил так, що число циклів до деформування (або руйнування) можна записати

$$N_f = N(S) = \begin{cases} \left(\frac{S_1}{S}\right)^m & S > S_0 \\ \left(\frac{S_1'}{S}\right)^{m'} & S < S_0 \end{cases} \qquad (14)$$

Чисельно, параметри можуть бути зв'язані між собою в такий спосіб:

$$m' = m + 2 \qquad (15)$$

$$N(S_0) = 1 \cdot 10^7 \qquad (16)$$

$$S_0 = 10^{\frac{7}{m}} S_1 = 10^{\frac{7}{m+2}} \cdot S'_1 \qquad (17)$$

$$S'_1 = S_1 \left(\frac{S_1}{S}\right)^{\frac{2}{m+2}} = S_0 \left(\frac{S_1}{S_0}\right)^{\frac{m}{m+2}} = S_1 \cdot 10^{\frac{14}{m(m+2)}} \qquad (18)$$

Підставлені разом з розподілом розмаху напруг для великого інтервалу (4) у коефіцієнт використання η, вони дають вираження замкнутого виду:

$$\eta = n\{(\frac{D}{S_1})^m \cdot \frac{\Gamma(d+\frac{m}{k};(\frac{S_0}{D})^k)}{\Gamma(d)} + (\frac{D}{S_1'})^m \cdot \frac{\gamma(d+\frac{m+2}{k};(\frac{S_0}{D})^k)}{\Gamma(d)}\} \qquad (19)$$

S-N криві, які розділені на велику кількість прямих ліній, так само можуть бути представлені вираженнями замкнутого виду типу (19). Однак, формули будуть містити стільки членів, наскільки це буде зручно для проведення чисельного підсумо вування.

9. ВИСНОВКИ

Шумове забруднення навколишнього середовища поряд з атмосферною, електрохімічною, температурною й ін. видами корозії варто розглядати як одну із причин передчасного старіння будь-якого матеріалу.

Вище надана спроба математичного статистичного опису розподілу напруг в залізобетонних будівельних конструкціях з застосуванням коефіцієнта використання утоми для побудови так званих S-N кривих з межею утоми, а також білінійних кривих. Ця тема – вплив шуму на руйнівні (корозійні) процеси в твердих матеріалах, безумовно, дуже цікава в науковому змісті, і потребує подальших досліджень.

1. Абракітов В.Е. Акустичне забруднення навколишнього середовища як фактор руйнування інженерних систем і будівельних конструкцій // Програма семінару "Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур", Харків, жовтень -листопад 2006. - с. 7.
2. Абракитов В.Э. Акустическое загрязнение окружающей среды как фактор разрушения инженерных систем и строительных конструкций // Науковий вісник будівництва. Вип. № 38. Харків, ХТУБА ХОТВ АБУ, 2006. - С. 151-154.
3. http://abrakitov.narod.ru/Monograph/1-3.htm Абракитов В.Э. Акустическое загрязнение окружающей среды как фактор разрушения инженерных систем и строительных конструкций (Публ. в Інтернет).
4 Бишоп Р. Колебания: Пер. с англ. / Под ред. Я. Г. Пановко. - 3-е изд. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. - 192 с.
5. American Society for Metals, "Metals Handbook" Vol. 10: "Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures." Metals Park, Ohio 44073, 8th Edition, 1975.
.6. A.Almar-Naess, editor, "Fatigue Handbook", Tapir, Trondheim, 1985.
7. Det norske Veritas, "Fatigue Strength Analysis for Mobile Offshore Units", Classification Note No.30.2. August 1984.
8. British Standards Institution BS5400, "Steel, Concrete and Composite Bridges. Part 10. Code of Practice for Fatigue." 1980.
9. Department of Energy, "Offshore Installations. Guidance on Design and Construction. New Fatigue Design Guidance for Steel Welded Joints in Offshore Structures." DoE, Issue N. August 1983.

Абракітов В.Е., Абракітов Д.В. Негативний вплив шуму на конструкції будівель, що несуть та огороджують, в світлі механіки руйнування// Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: Наук.-техн. збірник. Вип. 42. – К. – Дніпр.: Основа, 2007. – С. 296-301.

10. Norges Standardiseringsforbund, "Prosjektering av staalkonstruksjoner. Beregning og dimensjonering." Norsk Standard NS 3472, 1.utg. 1975, 2.utg. 1984.
11. F.Matanzo, "Fatigue Testing of Wire Rope." MTB-Journal Vol.6 No.6.
12. S.Gran, Evaluation of High Cycle Fatigue in Welded Steel Connections. Det norske Veritas, Report No.76-339.
13. S.Gran, "Fatigue in Offshore Cranes". Norwegian Maritime Research, No.4 1983, 2 -12.
14. Y.K.Lin, Probabilistic Theory of Structural Dynamics. Robert E.Krieger Publishing Company. Huntington, New York, 1976 p.99.
15. H.E.Boyer, editor, "Atlas of Fatigue Curves," American Society for Metals, Metals Park, Ohio 44073, 1986.